

# 架空線集材用鐵索の計算法に関する研究

助教授 加藤 誠 平

Seihei KATO:

A Study on the Calculation of Wire-ropes used for Skyline-skidding

## 目 次

緒 言	189
I 鐵索の種類	189
II 鐵索に生ずる應力の種類	192
III 引 張 應 力	193
IV 引張破斷強度及び彈性係數	195
V 曲 げ 應 力	197
VI 鐵索の許容應力, 鐵索の太さ及び安全率の算定	201
VII 支 壓 應 力	207
VIII 鐵索の耐久力	208
引 用 文 献	211
Résumé	211

## 架空線集材用鐵索の計算法に關する研究

### 緒 言

森林作業の機械化に關聯して動力集材機 (Skidder) による架空線集材法 (Skyline Methods) の普及が要望されてゐるが、從來この種の集材には經驗に基く適宜の鐵索が使用される場合が多く、作業中に鐵索が切斷したり、意外に早く損傷したりする事例もあつて、これが鐵索集材の普及に障害を與える原因の一つとなつてゐる。よつて著者は架空線集材用鐵索の選定に對して可及的合理的な基礎を與えるために鐵索の應力算定に關する理論的解析と實用的數値についての研究をこゝに取纏めて報告する。ただし鐵索の應力計算の基礎となる架空線の張力その他の靜力學的性質に關する理論及び計算法については、既に數多くの研究發表を見た架空索道の軌索及び曳索のそれを集材用鐵索にも應用し得るから、こゝではその問題には觸れない。架空線集材を有効に實施するためには極めて良質の鐵索を必要とし、外國では日本標準規格に規定されてゐる鋼索よりも遙かに標準の高いものが用いられてゐて、我が國でもそのような鐵索の使用が望ましいが、現下の情勢に於ては高級の鐵索を廣く一般に使用することが困難であることに鑑みて日本標準規格の鐵索を基本にして研究を進めた。本研究に對して直接指導を賜つた藤林誠教授並に援助を與えられた教室職員各位に深謝すると共に、本研究が文部省科學研究費及び東京大學農學部附屬演習林の援助を受けたものであることを附記して謝意を表する。

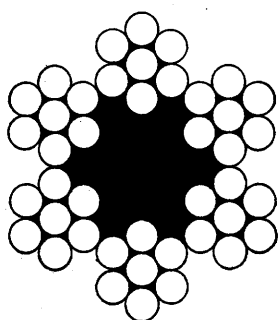
昭和 24 年 10 月

東京大學農學部森林利用學教室にて 著 者

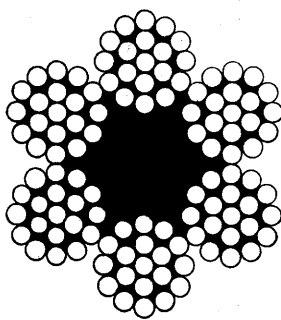
### I 鐵 索 の 種 類

鐵索は鐵線 (素線) を撚り合せて製作された索で、その撚り方、斷面の構造、素線の形狀及び材質などにより多くの種類がある。架空線集材用鐵索は一般に物揚げ用に使はれる鐵索と同様、素線に鋼線を用いた鋼索であつて、所謂マルチプル・ストランド鋼索に屬し、Fig. 1 に示すように圓形斷面の素線 (Wire) を撚り合せて小繩 (Strand) を作り、小繩を撚り合せて索 (Wire-rope) としたものである。索に柔軟性を與えるために索の中心に麻を入れた「中心麻入鐵索」と、小繩の中心及び索の中心共に麻を入れた「中心及各小繩麻入鐵索」とがある。この種の鋼索の名稱、種別、構造、強度、試驗法などの標準は日本標準規格 JES 第

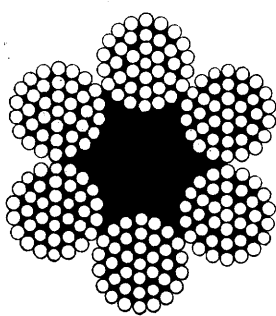
Fig. 1 マルチプル・ストランド鐵索



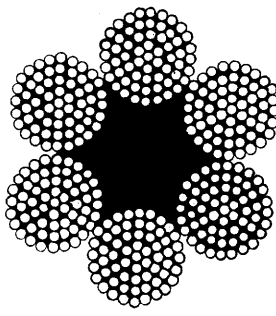
7×6



19×6

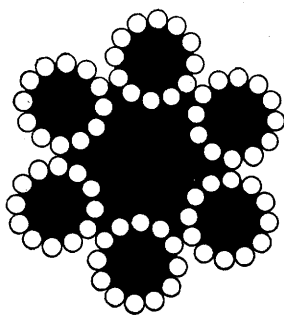


37×6

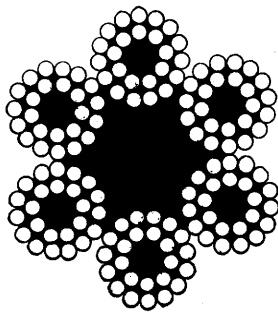


61×6

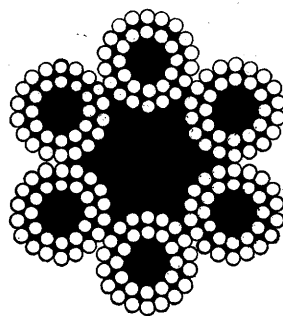
(中心麻入)



12×6



24×6



30×6

(中心及小繩心麻入)

104 號, 類別 F9, 頁 1—3 に示された通りである。

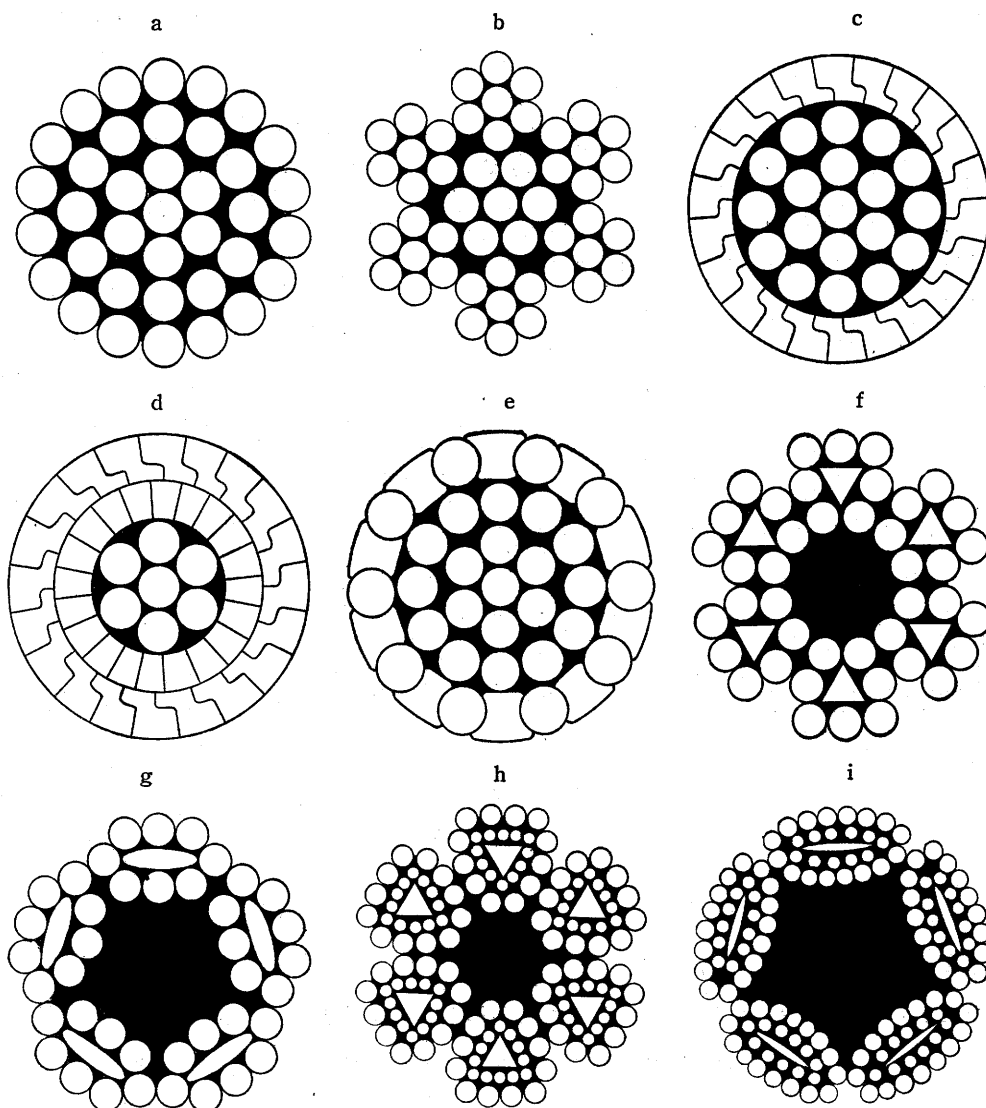
索の撚り方には左撚りと右撚りがあるが、普通の鋼索では小繩は左撚り、素線は右撚りである。このように素線と小繩とが反対の方向に撚つてあるものを普通撚り (Ordinary lay) といひ、素線の撚りと小繩の撚りが同一方向のものをラングス・レー (Lang's lay) という。ラングス・レーは普通撚りに比べて索の表面が平滑で巻き付けや滑車の走行の際損傷が少ないが、取扱ひの際扭れを生じ易い缺點がある。小繩の数は通常 6 本で

小繩を構成する素線の数には 7, 12, 19, 24, 30, 37, 61 などの種類があり、細い素線を多数用いたもの程柔軟性 (可撓性) が大きい。素線の材質は引張破斷強度  $100 \sim 160 \text{ kg/mm}^2$ , 弾性係數 (ヤング率)  $E = 21,000 \sim 22,000 \text{ kg/mm}^2$  の鋼線が最も普通であるが、引張破斷強度  $60 \text{ kg/mm}^2$  程度の軟鋼線或いは  $180 \text{ kg/mm}^2$  以上の特別鋼線を用いたものもある。一般に素線の引張強度の低いものは柔軟であり、その高いもの剛直である。したがつてマルチプル・ストランド鐵索の使用目的に応じた概括的な選擇の標準を示せば表—1 の通りである。

表—1 マルチプル・ストランド鉄索選定標準

使用条件	燃り	小繩麻心	素線強度	素線數	素線の徑	備考
A. 大きな張力を受けるもの	普通燃り	無	大	一	一	架空線用
B. 頻繁に巻付けを行うもの	普通燃り	有	一	多	小	曳索用, 曳戻索用
C. 表面に摩擦を多く受けるもの	ラングス・レー	一	一	小	大	搬器を通ずる架空線用

Fig. 2 各種鉄索の型



a: スパイラル b: 共心マルチプル・ストランド c, d: ロックト・コイル e: セミ・ロックト・コイル f, g, h, i: フラットストランド

鐵索には上記の麻入マルチプル・ストランド鐵索の外に、Fig.2に示すような種類のものがあつて主として表—2に示すような用途に用いられ、就中フラットンド・ストランド鋼索 (Flattened Strand) は柔軟性と表面の平滑性とを兼備するから集材用に極めて好適で、アメリカでは一般に廣く用いられ、フラットンド・ストランド・ヘルクレス鐵索 (Flattened Strand Hercules Wire-rope) の名で知られてゐるが、本邦では集材用には未だ殆んど用いられてゐない。

表—2 鐵 索 の 型 と そ の 用 途

鐵 索 の 型	主 な 用 途
(1) スパイラル Spiral Cable	支索用、架空索道軌索用
(2) 麻心マルチプル・ストランド Multiple Strand Cable with Hemp Center	物揚げ用、曳索用、集材用
(3) 共心マルチプル・ストランド Multiple Strand Cable with Interior Strand	吊橋用、支索用、架空索道軌索用
(4) フラットンド・ストランド Flattened Strand Cable	物揚げ用、曳索用、集材用、架空索道・地面索道曳索用
(5) ロックト・コイル Locked Coil	架空索道軌索用
(6) セミ・ロックト・コイル Semi-locked Coil	"

本報告に於ては以上各種の鐵索中本邦に於て最も普通に架空線集材用に使用される麻心マルチプル・ストランド鐵索について前記日本標準規格に掲げられたものを主體として、その應力・太さ・安全率・耐久力などについて論ずることとする。

## Ⅱ 鐵索に生ずる應力の種類

架空線集材作業中鐵索には各種の外力が作用し、これに對し鐵索を構成する素線には各種の應力が生ずる。麻心鐵索では鐵線のみが應力を受け持ち麻の部分には應力が生じないものと考えねばならない。集材作業の常態に於て鐵索に加はる外力は主として引張りと曲げであるから、通常引張應力と曲げ應力を基準にして鐵索の太さあるいは安全率を算定する。しかし鐵索の支點には當然横の方向に支壓應力が生ずるし、作業中には機械の運轉や積荷に伴う衝撃荷重がしばしば働くことがあり、また剪斷や扭れが生ずることもあり得る。また鐵索の種類によつてはその製作の際に捩りによつて生じた相當の應力が潜在應力として存在するものもある<sup>1)</sup>。したがつてこれらの應力は個々の場合の必要に應じて考慮に入れる必要がある。

1) 特にこの潜在内部應力を消滅させるように製作された鋼索は不反撥性鋼索 Preformed Wire-rope と稱せられこの内部應力は極めて微少である。

さらにまた運轉に伴う鐵索表面の磨滅または損耗は斷面積の減少により應力の増大をもたらすから、これも個々の場合に應じて考慮に入れねばならぬ。なお溫度の變化による素線の伸縮にともなつて熱應力を生ずる場合もあるが、この種の應力は張線の調節によつて消滅させるべきものである。かくてこゝでは一應以上の考察のもとに引張應力と曲げ應力を一般的な計算の基礎にとり、その他の應力は綜合的に安全率の觀念の中に包含させて差支ないものとする。勿論個々の場合に引張り應力と曲げ應力を基準にして算定した設計を壓縮應力、剪斷應力、衝擊による應力、斷面の減少などの面から檢定する必要があることはいうまでもない。

### Ⅲ 引 張 應 力

今最も普通に鐵索集材に用いる 7 本線 6 撚り、19 本線 6 撚りなどの所謂マルチプル・ストランド鐵索の素線に生ずる引張應力について考えるに

$T$  = 鐵索の軸心方向に加えられる張力 (kg)

$T_s$  = 鐵索を構成する 1 本の小繩に加わる張力 (kg)

$T_w$  = 鐵索を構成する 1 本の素線に加わる張力 (kg)

$n_1$  = 鐵索を構成する小繩の數

$n_2$  = 小繩を構成する素線の數

$n = n_1 \cdot n_2$  = 鐵索を構成する素線の數

$A_0$  = 素線の斷面積 ( $\text{mm}^2$ )

$A = n \cdot A_0$  = 鐵索の鐵線斷面積 ( $\text{mm}^2$ )<sup>1)</sup>

$\varphi_1$  = 索の軸心と小繩の軸心との間の撚りの傾斜角

$\varphi_2$  = 小繩の軸心と素線の軸心との間の撚りの傾斜角

$\sigma_t$  = 素線の引張應力 ( $\text{kg}/\text{mm}^2$ )

とすれば

$$T_s = \frac{T}{n_1} \cdot \frac{1}{\cos \varphi_1} \dots\dots\dots (1)$$

$$T_w = \frac{T_s}{n_2} \cdot \frac{1}{\cos \varphi_2} = \frac{T}{n} \cdot \frac{1}{\cos \varphi_1 \cos \varphi_2} \dots\dots\dots (2)$$

1) 鐵索の軸心に直角な斷面に於ける鐵線斷面積合計は素線の斷面積合計よりは幾分大くなる理であるが普通撚 Ordinary lay 鐵索では素線の軸心と鐵索の軸心とは略平行に近く、ラングスレー Lang's lay 鐵索でもその角度は僅少であるから  $A = nA_0$  は近似値として十分正確であり、誤差は常に安全側に出る。

(1)(2)は張力  $T$  を小繩が平等に受け持ち、小繩の受持つ張力  $T_w$  を素線が平等に受持つものと假定した場合の式であつて、実際には多少の不平等をまぬかれないから、 $T_w$  の最大値としては(2)式に若干の増割を見込む方が適切である。その割増率を  $\alpha$  とすれば

$$T_w = \frac{T}{n} \cdot \frac{(1+\alpha)}{\cos\varphi_1 \cos\varphi_2} = \frac{T}{n} \cdot \frac{1}{\eta} \dots\dots\dots(3)$$

よつて素線に生ずる引張應力は

$$\sigma_t \text{ kg/mm}^2 = \frac{T_w}{A_0} = \frac{T}{\eta A} = \frac{T}{A_e} \dots\dots\dots(4)$$

上式中  $A_e$  は引張應力の算定に用うべき鐵索の有効鐵線斷面積 ( $\text{mm}^2$ ) であつて、 $\eta = \frac{\cos\varphi_1 \cdot \cos\varphi_2}{(1+\alpha)}$  は鐵索の實際の斷面積に對する効率である。(4)式は  $\eta$  の値を適當に選ぶことにより、鐵線束、Spiral 鐵索などにも適用することができる。 $\varphi_1 \varphi_2$  の値は鐵索の種類により異なるが、普通の製品では概ね表—3 のような數値を示す。

表—3 燃 り の 角 度

鐵 索 の 種 類	$\varphi_1$	$\varphi_2$	$\cos\varphi_1$	$\cos\varphi_2$	$\sin\varphi_1$	$\sin\varphi_2$
普通撚り マルチプル・ストランド 鐵 索 Multiple strand (Ordinary lay)	13°~20° 平均 17°	19°~30° 平均 21°	0.96	0.92	0.292	0.391
ラングス・レー・マルチプル・ストランド 鐵 索 Multiple strsnd (Lang's lay)	15°~17° 平均 16°	10°~15° 平均 13°	0.96	0.97	0.276	0.225
ヘ ル ク レ ス 鐵 索 Hercules	11°30'	18°10'	0.98	0.95	0.199	0.312
ス パ イ ラ ル 鐵 索 Spiral	21°30'	0	0.93	1.00	0.367	0.000
鐵 線 束	0	0	1.00	1.00	0.000	0.000

$\alpha$  の値は荷重の状況、鐵索の長さ、素線の數、撚り方などによつて適當に考慮せねばならない。たとえば單に鐵線を束ねた鐵線束のような場合には  $\alpha$  の値は相當大きく考える必要があるが、普通の鐵索の場合には荷重がある程度以上大きくなれば  $\alpha$  の値は餘り大きくとる必要がないものと考えられる。しかしこれを理論的に、もしくは實驗的にきめることは困難であるから、ここでは實用的見地から表—4 のような數値を用いることとする。

上記の  $\varphi_1, \varphi_2$  及び  $\alpha$  の平均値を用いて最も普通に使用される鐵索に付き  $\eta$  の値を算出すれば表—5 の通りである。

表—4 係 數  $\alpha$  の 値

種 別		$\alpha$
鐵 索	7本線6撚り	3 %
	19本線6撚り	2 %
	37本線6撚り	1 %
鐵 線 束		5~10%

表—5 張力に對する鐵索斷面效率

鐵 索 の 種 類		$\cos \varphi_1$	$\cos \varphi_2$	$\alpha$	效率 $\eta$
普 通 撚 り アルチプル・ストランド 鐵 索	7本線6撚り	0.96	0.92	3 %	0.86
	19本線6撚り			2 %	0.87
	37本線6撚り			1 %	0.88
ラ ン グ ス・レ ー マルチプル・ストランド 鐵 索	7本線6撚り	0.96	0.97	3 %	0.90
	19本線6撚り			2 %	0.91
	37本線6撚り			1 %	0.92
鐵 線 束		1.00	1.00	8 %	0.92

## IV 引張破斷強度及び彈性係數

鐵索を構成する素線の引張試験による破斷強度を  $\sigma_{tb}$  kg/mm<sup>2</sup> とし、鐵索の鐵線斷面積合計を  $A$  mm<sup>2</sup>、鐵索の引張り試験による破斷強度を  $T_b$  kg とすれば  $T_b < \sigma_{tb} \cdot A$  であつ

表—6 鐵索強度及び彈性係數試験成績例

鐵索の種類	鐵索直徑 d (mm)	素線直徑 $\delta$ (mm)	素線の力 耐 $\sigma_{tb}$ (kg/mm <sup>2</sup> )	素線の集 合破斷力 $\sigma_{tb} \times A$ (kg)	鐵索の實 際破斷力 $T_b$ (kg)	彈性限度 $T_P$ (kg)	彈性係數 $E_c$ (kg/mm <sup>2</sup> )	材 質
7本線6撚り	18	2.00	171	22,780	20,360	12,000	11,850	Mild Plough Steel
" "	22	2.44	136	26,780	24,240	13,000	10,200	Patent Steel
" "	22	2.44	146	29,510	26,800	17,000	11,900	Improved Plough Steel
" "	22	2.44	161	32,430	30,280	17,500	12,380	Mild Plough Steel
" "	22	2.44	174	34,950	32,340	18,500	10,900	Improved Plough Steel
" "	22	2.44	193	38,860	36,350	21,000	10,960	Extra Improved Plough Steel
" "	26	2.92	160	45,650	40,980	25,000	11,000	Mild Plough Steel
" "	30	3.35	164	60,840	55,210	31,000	13,400	Mild Plough Steel
19本線6撚り	18	1.20	166	22,250	18,900	10,500	9,950	Mild Plough Steel
" "	22	1.47	152	28,800	25,200	16,500	10,500	Improved Plough Steel
" "	22	1.47	164	31,960	27,680	16,000	10,250	Mild Plough Steel
" "	22	1.47	181	35,660	30,420	17,500	10,060	Imroved Patent Steel

て、 $\sigma_{tb} - \frac{T_b}{A}$  は  $\sigma_{tb}$  の 10~15% の値を示すのが普通である。これは主として鐵索製作過程に於ける熱りのために生ずる強度の減少であつて、東京製綱株式會社の行つた標點距離 1,000mm の供試體の試験結果を例示すれば表—6 の通りである。

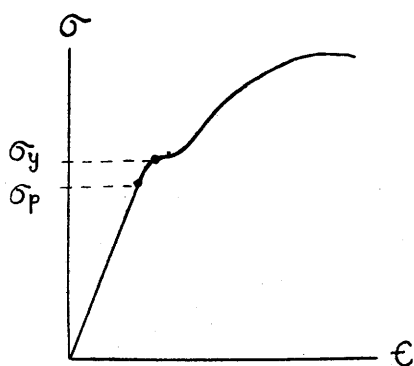
よつて引張試験による素線の破斷強度  $\sigma_{tb}$  kg/mm<sup>2</sup> より實際の鐵索の引張破斷強度を計算上推定する場合には

$$\frac{T_b}{A} = \sigma_{tb}(1 - \gamma) \dots \dots \dots (5)$$

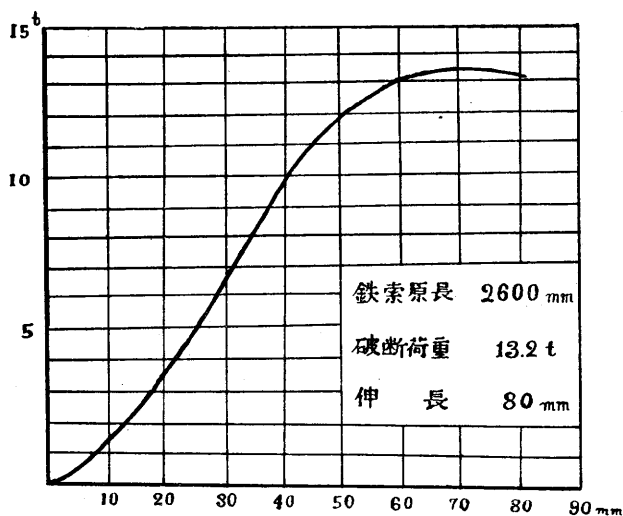
を用うべきである。 $\gamma$  は熱りによる強度の減少と材料の不均一性などを考慮に入れた係數であつて、CERETTI はスパイラル鐵索に對し  $\gamma = 10\%$ 、マルチプル・ストランド鐵索に對し  $\gamma = 15\%$  の値を提示してゐるが、これは前記試験成績の例と比較して見ても大體適切であるとする。

Fig. 4 鐵索の荷重伸長量曲線

Fig. 3 素線の應力伸長率曲線



次に引張試験による鐵索の彈性的性質について見ると、素線の引張試



験では應力伸長率曲線は通常 Fig. 3 に示すような形狀を示し、應力が比例限界  $\sigma_p$  以内では比例法則は明瞭にあらわれ、かつ降伏點  $\sigma_y$  の存在も明かであるのに比べて、鐵索の引張試験による荷重伸長量曲線では最初に相當の伸びが起り、次いで直線に近い部分が表はれ、降伏點は不明瞭である。Fig. 4 はその關係を東京製綱株式會社の行つた試験成績の 1 例によつて示したものである。これは荷重を加えることにより鐵索の素線及小繩相互間に「ずれ」が起ること、各素線が降伏點に達する時期が多少相異なることなどに原因すると考へられるが、更に又鐵索を構成する素線の長さが鐵索の標點距離よりも長くなること<sup>1)</sup> にもよつて鐵索全體としての伸長率は素線のそれよりもかなり大きくなる。したがつて素線の彈性係數

1) 鐵索の長さを  $L$ 、それを構成する素線の長さを  $l$  とすれば  $l = L \cdot \frac{1}{\cos^2 \varphi_1 \cos^2 \varphi_2}$

(ヤング率)を  $E \text{ kg/mm}^2$ , 鐵索の彈性係數を  $E_0 \text{ kg/mm}^2$  とすれば,  $E_0 < E$  であつて, 鐵索の彈性限度  $T_0$  及び彈性係數  $E_0$  の値は概ね表—6 の試験成績例に示す通りである。しかるに素線 (鋼線) の彈性係數は通常  $E = 21,000 \sim 22,000 \text{ kg/mm}^2$  であるから

$$E_0 = k \cdot E \quad \dots\dots\dots(6)$$

とすれば  $k \doteq 0.45 \sim 0.60$  であつて,  $k$  の平均値として  $0.5$  をとれば

$$E_0 = 0.5 E \quad \dots\dots\dots(7)$$

## V 曲 げ 應 力

鐵索はドラムへの巻き付け, 支持滑車 (Bearing block)・下降滑車 (Falling block)・搬器の車輪 (Carriage wheel) への接觸などのために曲げられるから, その部分では素線に曲げ應力が生ずる。曲げ應力は引張應力のように鐵索の全長に亘つて生ずるものでなく, 曲げられた部分にのみ生ずる局部的應力である。ドラムの周邊又は下降滑車の周邊などに於ける曲げは鐵索が相當の長さに亘つてドラムや滑車に接觸して曲げられるから, その曲率半径はドラムや滑車の徑に支配されるが, 支持滑車 (誘導滑車) や搬器の車輪との接觸部に於ける鐵索の曲げは寧ろ點接觸に近い状態であるために, 曲率半径は寧ろ鐵索の張力と横壓力 (横荷重) に支配される。すなわち鐵索の曲げ應力には 2 種類のものがあつて, それぞれ別の局部に生ずるものである。

### a) 一定の曲率半径で曲げられた鐵索の曲げ應力

ドラムまたは滑車に巻きつけられた鐵索について考えるに,  $D$  = ドラムまたは滑車の徑 (mm),  $d$  = 鐵索の徑 (mm),  $\delta$  = 素線の徑 (mm),  $\rho$  = 素線の曲率半径 (mm),  $E$  = 素線材料の彈性係數 ( $\text{kg/mm}^2$ ) とすれば, 應力が彈性限界以内である限り應力とひづみとは比例するから, 曲げによる素線の縁維應力は

$$\sigma_{b1} = \frac{\delta}{2\rho} E \quad \dots\dots\dots(8)$$

Fig. 5 に示すように鐵索の軸心の曲率半径は  $\frac{D+d}{2}$  であつて, 鐵索の軸心に對する小繩の傾斜角を  $\varphi_1$ , 小繩の軸心に對する素線の傾斜角を  $\varphi_2$  とすれば, 素線の曲率半径は

$$\rho = \frac{D+d}{2} \cdot \frac{1}{\cos^2 \varphi_1 \cdot \cos^2 \varphi_2} \quad \dots\dots\dots(9)$$

よつて 
$$\sigma_{b1} = \frac{\delta}{D+d} \cdot \cos^2 \varphi_1 \cos^2 \varphi_2 \cdot E \quad \dots\dots\dots(10)$$

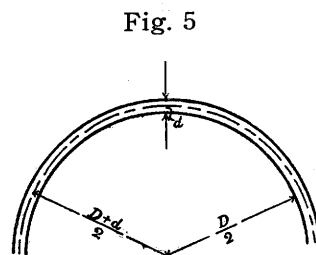


Fig. 5

(10) 式は素線または小繩の相互間に全く「ずれ」が起らないものと假定した場合の曲げ應力であつて、可撓性の大きな鐵索では實際には若干の「ずれ」が起つて應力の大きさは減少する。この應力減少率を $\beta$ とすれば

$$\sigma_{b1} = \frac{\delta}{D+d} \cdot \cos^2 \varphi_1 \cdot \cos^2 \varphi_2 (1-\beta) E \dots\dots\dots (11)$$

$\beta$  の値は鐵索の種類、鐵索の長さ、鐵索の軸心方向に働く張力の大きさなどにより異り、これを理論的に決定することは困難である。したがつて従來の慣習では  $\cos^2 \varphi_1 \cos^2 \varphi_2 (1-\beta)$  の代りに総合的な係数  $k_1$  を採り、同時に  $D$  に比べて小さい  $d$  を無視することにより<sup>1)</sup>、曲げ應力を次式で算定する。

$$\sigma_{b1} = \frac{\delta}{D} \cdot k_1 \cdot E \dots\dots\dots (12)$$

AMMANN 及 GRUENEWALDT は  $k_1=1$  を採つてゐるが、一般に  $k_1=0.3\sim 0.5$  の値が用いられ、 $k=0.5$  とすれば素線の彈性係数  $E$  の代りに(7)式で示した鐵索の引張りの彈性係数  $E_s$  を用いたのと同じ結果になるが、曲げの場合には  $k_1 = \frac{3}{8} = 0.375$  が最も普通に用いられてゐて、CERETTI, ERNST, イタリアの索道規定などいずれも索道及び物揚げ用の鐵索にこの値を採用してゐる。(12)式にこの値を入れれば

$$\sigma_{b1} = \frac{\delta}{D} \cdot \frac{3}{8} \cdot E \dots\dots\dots (13)$$

(13) 式により明かなように  $\delta:D$  の値が小さい程  $\sigma_{b1}$  が小さくなり、 $\delta:D$  の値が大きければ曲げのために素線が破壊する。したがつて  $\delta:D=1:500\sim 1:1000$  の値が一般に要求されてゐる。ドラム又は滑車の徑を出来るだけ大きくして、素線の細い鐵索を使用することはこの點から有利であるが、實際問題としては兩者共に或る程度の制限をうけるので、 $\delta$  及  $D$  は後に述べる鐵索の耐久力を勘案して決めるべきである。ATHERTONによればイギリスの規格

表—7 鐵索の直徑とドラム又は滑車の最小直徑

鐵索の種類	ドラムの最小直徑 D		摘 要
	素線材質 A	素線材質 B	
19本線 6 撚り	23 d	27 d	D=ドラムの最小直徑 d=鐵索の直徑 滑車の最小直徑>Dなることを要する 素線材質 { A 引張破斷強度 80~100t/in <sup>2</sup> (126~172kg/mm <sup>2</sup> ) B " 110~130 " (172~205 " )
24 " 6 "	19 d	22 d	
37 " 6 "	16.5 d	19 d	
61 " 6 "	13 d	15 d	

1) d を無視することによる誤差は安全側に出る。

では鉄索の直径  $d$  とドラムの最小半径  $D$  の関係を表—7 のように規定してゐる。

### b) 横荷重による鉄索の曲げ応力

軸心方向に一定の張力が働いて張られてゐる鉄索にその軸心と垂直の方向に横荷重が働くときは、この荷重によつて惹起される曲げモーメントのために素線には曲げ応力が生ずる。この曲げ応力に關しては一般に ISAACHSEN 理論が用いられてゐて、CERETTI はこれに基いて架空索道の軌索に於て搬器の車輪の下に生ずる最大曲げ応力の算定式として次式を與えてゐる。

$$\sigma_{b2} = \frac{P}{\sqrt{TA}} \cdot \frac{\lambda \sqrt{E}}{2\sqrt{\theta}} \dots\dots\dots (14)$$

ただし  $\sigma_{b2}$  = 素線の最大曲げ応力 (kg/mm<sup>2</sup>)

$P$  = 鉄索の軸心と直角の方向に働く横荷重 (kg)

$T$  = 鉄索の軸心方向に働く張力 (kg)

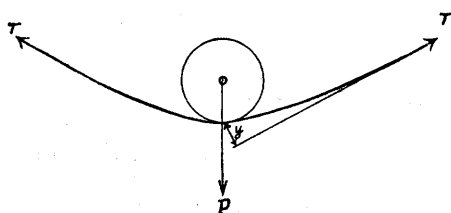
$A$  = 鉄索の鉄線断面積 (mm<sup>2</sup>)

$E$  = 素線の弾性係数 (kg/mm<sup>2</sup>)

$\lambda = \frac{R}{\rho}$ ,  $R$  = 鉄索軸心の曲率半径,  $\rho$  = 素線の曲率半径

$\theta$  = 係数 ( $EI$  を鉄索の曲げ剛度とし,  $I$  = 鉄索の断面 2 次率 =  $Ar^2\theta$  で示した場合の係数,  $r$  = 素線の半径)

Fig. 6



この式は曲げモーメントを  $M$  とし、索の曲げ剛度を  $EI$  とするとき一般弾性體の曲げの理論より  $\frac{1}{R} = \frac{M}{EI}$  が成立するものとし、曲げモーメントの大きさは Fig. 6 より  $M = Ty$  であるところから

$$\frac{1}{R} = \frac{Ty}{EI} = \frac{P}{2\sqrt{TEI}} \dots\dots\dots (a)$$

然るに  $\rho$  の曲率で曲げられた素線の縁維応力

$$\sigma_b = E \cdot \frac{r}{\rho} \dots\dots\dots (b)$$

(b) に (a) を代入し、 $\lambda$  及  $\theta$  を用いて書きかえると

$$\sigma_{b2} = Er\lambda \cdot \frac{P}{2\sqrt{TEI}} = \frac{P}{\sqrt{TA}} \cdot \frac{\lambda \sqrt{E}}{2\sqrt{\theta}} \dots\dots\dots (c)$$

となつて (14) 式が得られる。式中の  $\lambda$  及  $\theta$  の値は表—8 の通りである。

表—8  $\lambda, \theta$  の 値

鐵 索 の 種 類	$\lambda$	$\theta$
マルチプル・ストランド鐵索	$\cos^2\varphi_1 \cos^2\varphi_2$	$\frac{\cos \varphi_1 \cos \varphi_2}{4} (1 + \frac{4}{5} \sin^2\varphi_1)$
ス パ イ ラ ル 鐵 索	$\cos^2\varphi$	$\frac{\cos \varphi}{4} (1 + \frac{4}{5} \sin^2\varphi)$
鐵 線	1	$\frac{1}{4}$

よつて、 $\frac{\lambda^2}{4\theta} = k_2$  として例へばマルチプル・ストランド鐵索に於て  $\varphi_1 = 17^\circ$ ,  $\varphi_2 = 21^\circ$  の平均値を用いてこれを計算すれば、 $k_2 = 0.68 \approx 0.7$  となり、(14) 式は

$$\sigma_{b2} = P\sqrt{\frac{k_2 E}{TA}} = P\sqrt{\frac{0.7E}{AT}} \dots\dots\dots (15)$$

AMMANN 及び GRUENEWALDT は種々の形の断面をもつ素線から成る鐵索の横荷重による曲げ應力の算出に、同じ ISAACHSEN 理論より次の公式を與えてゐる。

$$\sigma_{b2} = \frac{P}{2} e \sqrt{\frac{E}{T \Sigma J_a}} \dots\dots\dots (16)$$

ただし  $e$  = 素線断面の軸心から縁維までの距離

$J_a$  = 素線断面の 2 次率

素線が總て圓形断面の鐵索であれば  $e = \frac{\delta}{2}$ ,  $\Sigma J_a = n \cdot \frac{\pi \delta^4}{64}$  であるから (16) 式は

$$\sigma_{b2} = \frac{P}{4} \cdot \delta \sqrt{\frac{E}{T \cdot n \cdot \frac{\pi \delta^4}{64}}} = P \sqrt{\frac{E}{TA}} \dots\dots\dots (17)$$

となる。この式では鐵索と素線の曲率半径の差や剛性係数の差が考慮に入れてないから単一の鐵線または鐵線束には當てはまるが普通の鐵索に對しては安全側に相當の誤差がある。しかも (14) 式と同様に  $E$  は素線の彈性係數であつて素線及小繩相互間の「ずれ」による鐵索全體の曲げに對する彈性係數の低下を考慮に入れていない。したがつてこれを考慮に入れればやはり  $\sigma_{b2} = P\sqrt{\frac{k_2 E}{TA}}$  の形となり、係數  $k_2$  に引張りの場合と同じ値を用いれば

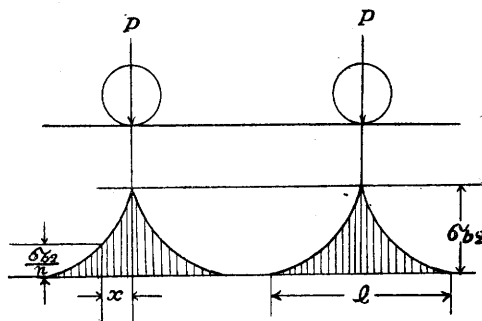
$$\sigma_{b2} = P\sqrt{\frac{0.5E}{TA}} \dots\dots\dots (18)$$

(18) 式はイタリーの旅客用架空索道規定の軌索の算定式として採用され、ロツクト・コイル鐵索のような比較的可撓性の少い太い鐵索の應力計算に適用し得ることが實際にも立證されてゐる。CERETTI の式から誘導した (15) 式も架空索道の軌索に對するものであるから、これらを併せ考えるとときは、通常架空線集材に用いられる比較的可撓性の大きな鐵索では係數を

$k_2=0.4$  程度にとつても差支ないものとする。いづれにしても  $\sigma_{b2}$  の値は  $\sqrt{T}$  に反比例するから、索が強く張られてゐるとき程横荷重  $P$  による曲げ應力は少くなる。したがつて搬器に比較的大きな荷重を積む架空索道の軌索では張力  $T$  に比較的大きな値を與えて  $\sigma_{b2}$  の値を小にするのが有利とされてゐるが、架空線集材に於ける架空索は架空索道の軌索の如く固定的でなくて、固定架空線式 (Tight skyline) の索でも尾柱 (Tail spar) を替える毎に張力  $T$  の値は變化するし、下降架空線式 (Slack line) では架空線の緊張と弛緩とを繰返すから  $T$  の値は一定でない。したがつて  $\sigma_{b2}$  を小さくするような張り方が望めない場合もある。また前記の如く  $\sigma_{b2}$  は搬器の車輪の下、もしくは支持滑車の接觸部に於ける局部的應力で、接觸點に於ける曲げ應力を  $\sigma_{b2}$  とするとき、接觸點から應力が  $\sigma_{b2}$  の  $\frac{1}{n}$  に減ずる點までの距離を  $x$  とすれば、AMMANN 及 GRUENEWALDT の與えた  $x$  の値は次式の通りである。

$$x = \frac{1}{4} \log n \cdot \sqrt{\frac{E}{\sigma_t}} \delta = \log n \cdot \sqrt{\frac{EJ_d}{T}} \dots\dots\dots (19)$$

Fig. 7



すなわち横荷重の作用點を遠ざかるにつれて曲げ應力の大小は Fig. 7 に示すように急激に減少し、しかもその減少の仕方は張力  $T$  に反比例する。また中村元によれば、横荷重  $P$  により鐵索の曲がる範圍を  $l$  とすれば

$$l = 4 \sqrt{\frac{EJ_d}{T}} \dots\dots\dots (20)$$

で與えられる。したがつて彈性剛度  $EJ_d$  の

小さい細い素線の鐵索を用いば  $T$  が相當小さい値でも横荷重  $P$  の影響は極めて小範圍にとゞまるのである。概ね以上のような考察に基き、ここでは架空線集材に於ける横荷重による曲げ應力の算定式として

$$\sigma_{b2} = P \sqrt{\frac{0.4 E}{TA}} \dots\dots\dots (21)$$

を用いることとする。

## Ⅶ 鐵索の許容應力、鐵索の太さ及び安全率の算定

鐵索の張力  $T$  kg, ドラムまたは滑車の徑  $D$  mm 及び横荷重  $P$  kg (2個の車輪を有する搬器で搬器の重量共  $Q$  kg の荷重を支える場合には  $P = \frac{Q}{2}$  である。曳索の重量の一部が搬器に加わる場合には  $Q$  にこれを加算する) が與えられ、素線の徑が  $\delta$  mm の鐵索の最大

應力  $\sigma_{max}$  kg/mm<sup>2</sup> は (4), (13) 及び (21) 式によつて算定し得る。すなわち

$$\sigma_{max.1} = \sigma_t + \sigma_{b1} = \frac{T}{A_e} + \frac{\delta}{D} \cdot \frac{3}{8} E \dots\dots\dots (22)$$

または 
$$\sigma_{max.2} = \sigma_t + \sigma_{b2} = \frac{T}{A_e} + P \sqrt{\frac{0.4E}{TA}} \dots\dots\dots (23)$$

であつて  $\sigma_{max.1}$ ,  $\sigma_{max.2}$  のうちいづれか大きい方の値を基準にとればよい。今鐵索の破斷強度を  $T_b$  kg とし, 斷面積 (素線斷面積合計) を  $A$  mm<sup>2</sup>, 安全率を  $N$ , 許容應力を  $\sigma_a$  kg/mm<sup>2</sup> とすれば

$$\sigma_a = \frac{T_b}{A} \cdot \frac{1}{N} \dots\dots\dots (24)$$

であつて, 鐵索が安全であるためには

$$\sigma_{max} \leq \sigma_a \text{ すなわち } \sigma_t + \sigma_{b1} \leq \sigma_a, \text{ 又は } \sigma_t + \sigma_{b2} \leq \sigma_a \dots\dots\dots (25)$$

が成立することを要する。あるいは  $\sigma_{max}$  の應力に安全に耐え得る鐵索の太さは次式より求められる。

$$A = \frac{T_b}{\sigma_{max}} \cdot \frac{1}{N} \dots\dots\dots (26)$$

またある一定の太さ, すなわち與えられた一定斷面積の鐵索を使用する場合の安全率の値は

$$N = \frac{T_b}{\sigma_{max} \cdot A} \dots\dots\dots (27)$$

安全率  $N$  をどの位にとるかは, 作業條件によつて決めるべき問題であり, 作業上の便否と經濟の許す限り大きくとるのが望ましい。然し集材作業の實際問題としては鐵索の壽命に多少の犠牲を拂つても危険を伴はぬ範圍に於てなるべく小徑の鐵索を用いる方が便利なが多い。鐵索の彈性限界は表—6 に例示した如く破斷強度の 0.5~0.6 であるから, 安全率を 2 より小さくすることは絶対にさなければならぬ。運轉や積荷に伴う衝擊により應力に 30% の増加を見込むときは最小安全率は 2.6 にとらねばならぬ。更に局部的な剪斷, 撚り, 磨滅などを考慮するときは最小の安全率として  $N=3\sim 3.5$  を用いるのを至當とする。これは勿論作業條件に甚しい無理のないこと, 鐵索が規格に合致した優良製品であることを前提とするものであつて, CERETTI は同じ前提のもとに比較的簡易な架空索道の軌索に對する最小安全率として  $N=3.5$ , 曳索に對しては  $N=5\sim 8$  を提唱してゐる。したがつて無理な作業を餘儀なくされることが豫想される場合 (例えば滑車の配置によつて連續した反曲 Reverse bend が行はれるときの如き), 鐵索の製品の信頼度の薄い場合, 鐵索の使用年限の永い場合または特に重要な架空線に對しては  $N=4\sim 5$  を採擇するのが安全である。上記各式により實

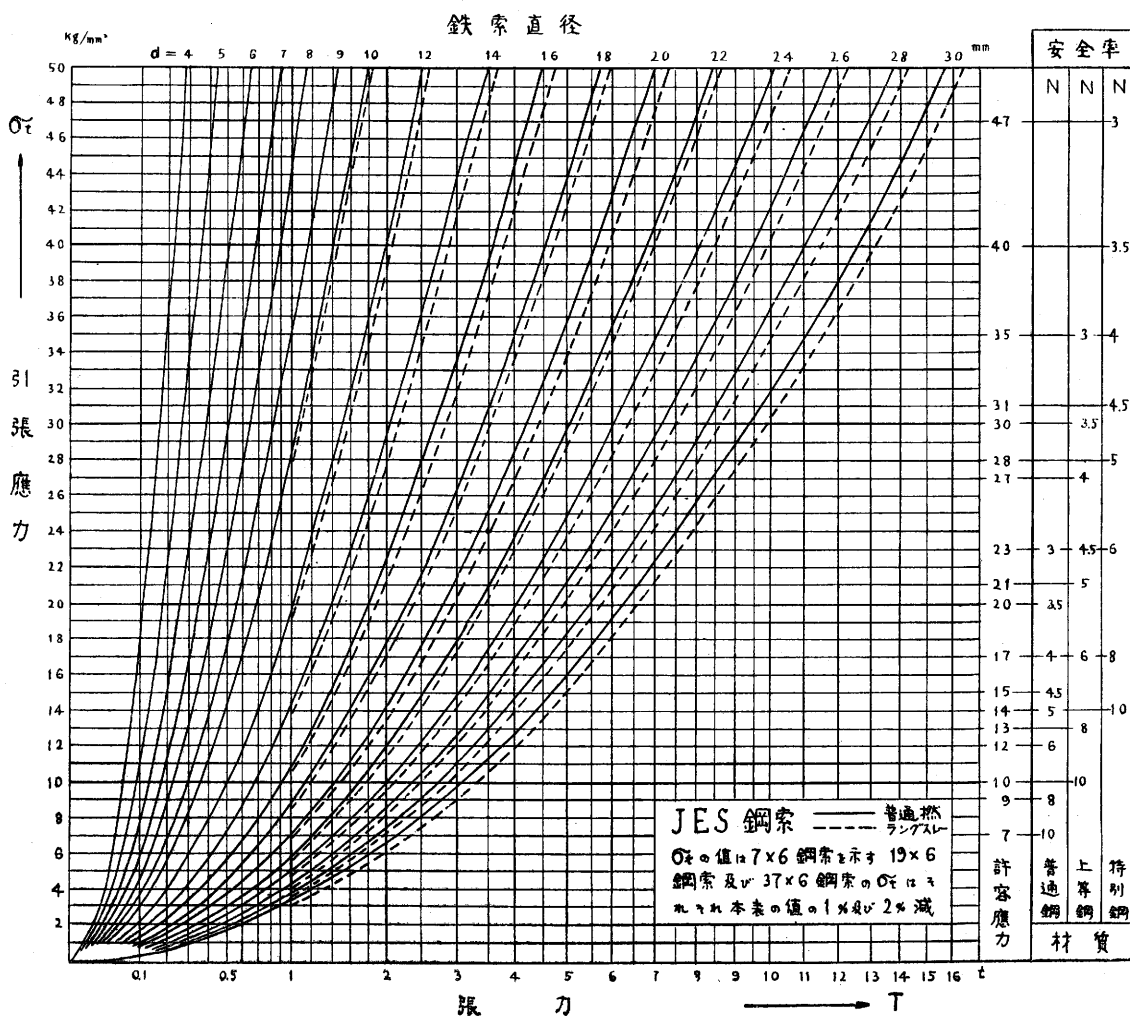
用上の鐵索計算圖表を作製すれば表—9~12 を得る。

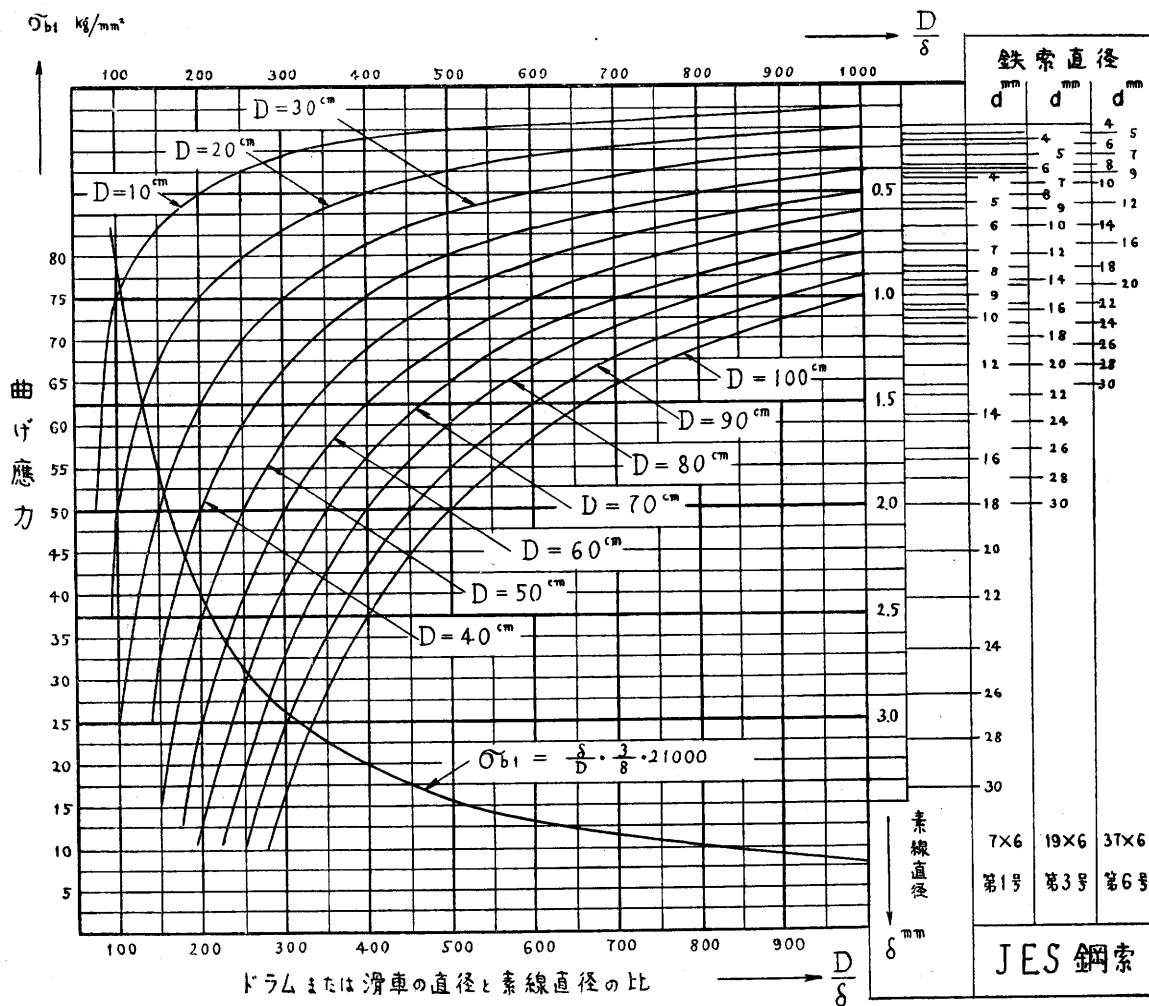
表—9 マルチプル・ストランド鐵索の許容應力

鐵 索 の 種 類		破斷應力 (kg/mm <sup>2</sup> ) $\sigma_{tb} = T_b/A$	許 容 應 力 (kg/mm <sup>2</sup> ) $\sigma_a = T_b/N \cdot A$							
材 質	撚 り		安全率 N=3	N=3.5	N=4	N=4.5	N=5	N=6	N=8	N=10
普通鋼	7×6 中心麻入 (JES 第1號)	70~72	23	20	17	15	14	12	9	7
	19×6 中心麻入 (JES 第3號)	74~76								
上等鋼	7×6 中心麻入 (JES 第1號)	107~109	35	30	27	23	21	17	13	10
	19×6 中心麻入 (JES 第3號)	108~111								
	37×6 中心麻入 (JES 第6號)	105~108								
特別鋼	37×6 中心麻入 (JES 第6號)	140~142	47	40	35	31	28	23	17	14

(JES 第104號 F9 の數値より算出)

表—10 張力による引張應力算出表





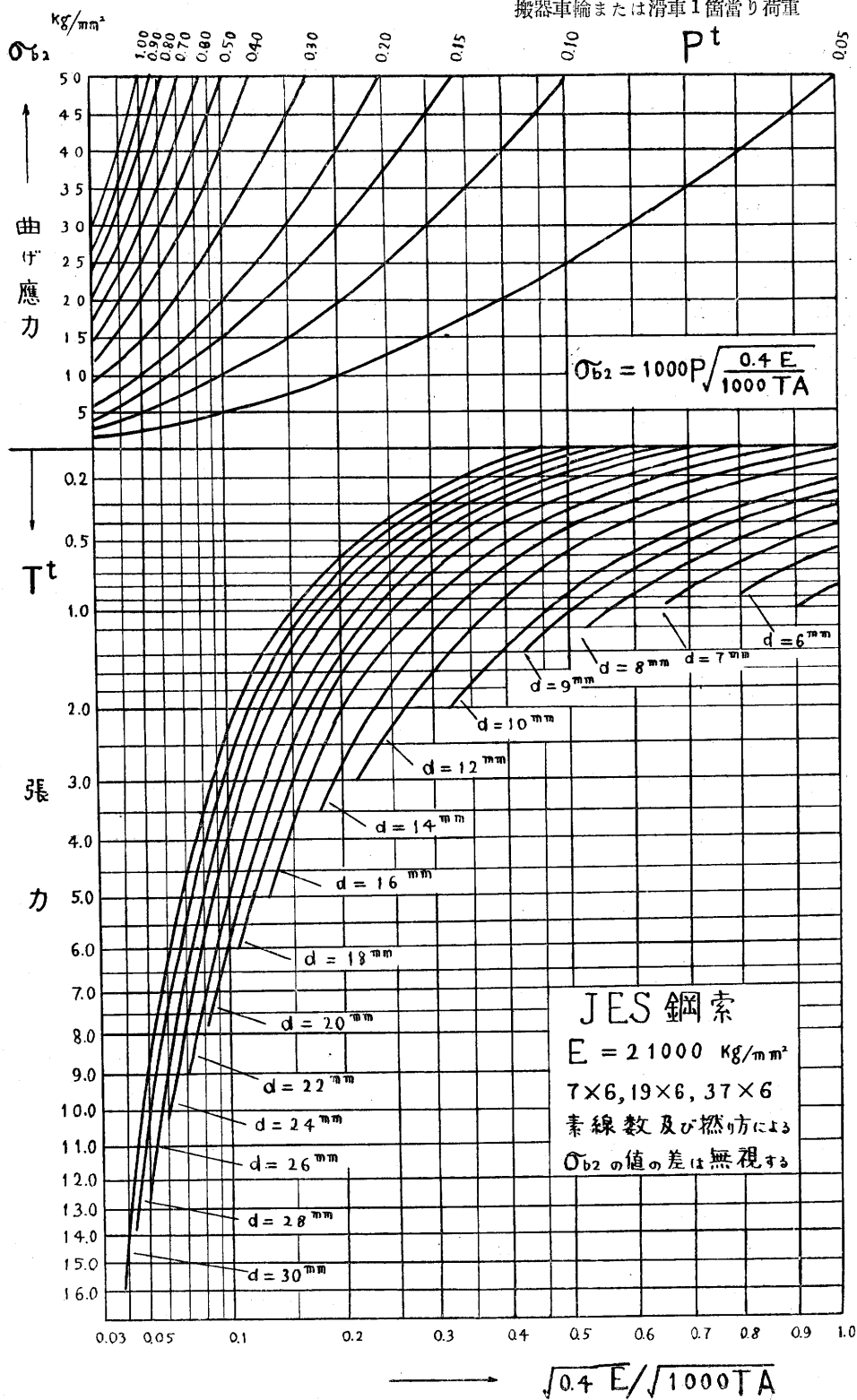
### 例—1 集材用引寄索

(1) 引張應力  $\sigma_t$  及び張力に對する安全率  $N_t$  表—10 を用い、 $T=0.5\text{ t}$  の縦線と  $d=12\text{ mm}$  曲線の交點を通る横線を左にたどれば  $\sigma_t=10\text{ kg/mm}^2$ ,  $37\times 6$  につき 2%を減じ  $\sigma_t=9.8\text{ kg/mm}^2$  を得る。同表最右上等鋼欄または表—9 より  $N_t=10$  を得る。

(2) 曲げ應力  $\sigma_{b1}$  表—11 を用い最右 37×6 欄の  $d=12\text{ mm}$  に相當する  $\delta \doteq 0.6\text{ mm}$  の横線を左にたどり  $D=30\text{ cm}$  曲線との交點を求め、その縦線 ( $D/\delta \doteq 500$ ) と  $\sigma_{b1}$  曲線との交點を通る横線を左にたどれば  $\sigma_{b1}=15.5\text{ kg/mm}^2$  を得る。

表-12 横荷重による曲げ應力算出表

搬器車輪または滑車1箇當り荷重



(3) 最大應力  $\sigma_{max1}$  及び安全率  $N$   $\sigma_{max1} = \sigma_t + \sigma_{b1} = 9.8 + 15.5 = 25.3 \text{ kg/mm}^2$ ,  $N \doteq 3$  となる。

(4) 耐久力<sup>1)</sup> 表—16 を用い  $\frac{D}{\delta} = 500$  の縦線と  $N_t = 10$  曲線の交点を通る横線を左にたどれば、耐久力サイクル数 1,100,000 を得る。あるいは表—13 を用い  $\frac{D}{d} = \frac{300}{12} = 25$  であるから、37×6 鉄索では  $N_t = 10$  に對する耐久力約 300,000 サイクルを得る。よつて耐久力は概ねこの範圍と推定する。

#### 例—2 集材用架空索（固定架空線式）

鐵索に加わる張力  $T = 5t$ , 搬器車輪 1 個當り荷重  $P = 0.2t$  の固定架空索にラングス・レー 7×6 上等鋼索を使用するものとし、安全率  $N = 3$ , 張力のみに對する安全率  $N_t = 6$  とするためには直徑何 mm のものを用うべきか。

(1) 引張應力  $\sigma_t$  による直徑の算出 表—10 を用い、最右上等鋼索欄  $N = 6$  に相當する  $\sigma_t = 17 \text{ kg/mm}^2$  の横線と  $T = 5t$  の縦線の交点を求めて最寄のラングス・レー  $d$  曲線を見れば  $d = 26 \text{ mm}$  を得る。

(2) 曲げ應力  $\sigma_{b2}$  を加算した場合の安全率の檢定 表—10 よりラングス・レー 7×6  $d = 26 \text{ mm}$ ,  $T = 5t$  に對しては  $\sigma_t = 17.5 \text{ kg/mm}^2$  である。次に表—12 を用い左下  $T = 5t$  の横線と  $d = 26 \text{ mm}$  曲線の交点を求め、その縦線 ( $\sqrt{0.4E} / \sqrt{1000 \cdot TA} \doteq 0.08$ ) が上部  $P = 0.2t$  曲線と交る點の横線を左にたどれば  $\sigma_{b2} = 16 \text{ kg/mm}^2$  を得る。最大應力  $\sigma_{max2} = \sigma_t + \sigma_{b2} = 17.5 + 16 = 33.5 \text{ kg/mm}^2$ , よつて安全率  $N = 3.1$  となり,  $d = 26 \text{ mm}$  を使用してよいことを知る。

#### 例—3 集材用架空索（スラック・ライン式）

鐵索直徑 28 mm, ラングス・レー 37×6 特別鋼索を使用するものとし、索に加わる張力緊張時  $T = 7t$ , 弛緩時  $T = 4t$ , ドラムの直徑  $D = 50 \text{ cm}$ , 搬器車輪 1 個當り荷重  $P = 0.25t$  のとき、この鐵索の應力、安全率及び耐久力を求む。

(1) 引張應力  $\sigma_t$  及び張力に對する安全率  $N_t$  例—I(1) と同様にして  $\sigma_t = 24.5 \text{ kg/mm}^2$ ,  $N_t = 5.6$

(2) ドラムによる曲げ應力  $\sigma_{b1}$  例—I(2) と同様にして  $\sigma_{b1} = 21 \text{ kg/mm}^2$ ,  $\delta = 1.33 \text{ mm}$ ,  $\frac{D}{\delta} = 377$

(3) 搬器による曲げ應力  $\sigma_{b2}$  例—2(2) と同様にして  $\sigma_{b2} = 22 \text{ kg/mm}^2$

(4) 最大應力  $\sigma_{max}$  及び安全率  $N$   $\sigma_{b2} > \sigma_{b1}$  につき  $\sigma_{max} = \sigma_t + \sigma_{b2} = 24.5 + 22 = 46.5$

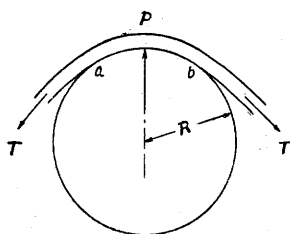
1) VII 參照。

kg/mm<sup>2</sup>, 表—10 または表—8 より特別鋼索に対する安全率  $N \div 3$

- (5) 耐久力 表—16 を用い  $\frac{D}{\delta} = 377$  と  $N_t = 5.6$  より耐久力サイクル数約 140,000 を得る。

## Ⅶ 支 壓 應 力

Fig. 8

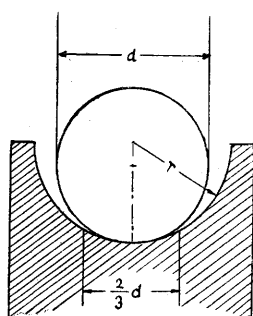


架空線は主柱、尾柱に於ける支持滑車 (Bearing block) を始め随所に用いられる支持滑車や受鞍 (Saddle) などでえられるから、鐵索に張力  $T$  が働くときは Fig. 8 に示すような反力  $P$  が働いて鐵索はその軸心と直角の方向に壓縮される。これは架空索道の軌索が受舐 (Slipper) の上で壓縮を受けるのと同様である。この反力  $P$  は半径  $R$  cm の滑車又は受鞍の外周接觸部  $a \sim b$  間に分布して働き、 $a \sim b$  間の單位長さ當り壓力強度を  $p_0$  kg/cm<sup>2</sup> とすれば

$$p_0 = \frac{T}{R} \quad \dots\dots\dots (28)$$

で與えられる。次にこの接觸部の横断面について見るに、Fig. 9 に示すように滑車又は受鞍

Fig. 9



の溝の半径  $R$  cm は鐵索の半径  $\frac{d}{2}$  cm よりも大きいから理論上は點接觸の筈であり、又兩者の曲率がほぼ等しい場合でも鐵索の表面は素線によつて構成されてゐるから、やはり數個の點接觸を考えるのが正當であるが、近似的に一定の幅で線接觸をすすめるものと考えても差支ない。CERETTI はこの幅を  $\frac{2}{3} d$  にとり、接觸部の單位面積當り壓力強度  $p$  kg/cm<sup>2</sup> を

$$p = \frac{T}{R \times \frac{2}{3} d} \quad \dots\dots\dots (29)$$

としている。したがつてこのような壓力によつて生ずる支壓應力を  $\sigma_e$  kg/cm<sup>2</sup> とすれば

$$\sigma_e = \frac{T}{R \times \frac{2}{3} d} \quad \dots\dots\dots (30)$$

よつて(30)式の値が材料の許容壓縮應力  $\sigma_{ca}$  kg/cm<sup>2</sup> よりも小さいことが必要となるわけであるが、同時に  $\sigma_e \leq \sigma_{ca}$  であるためには

$$R \geq \frac{T}{\sigma_{ca} \times \frac{2}{3} d} \quad \dots\dots\dots (31)$$

が成立する必要がある。ただし上式の  $R, d$  の単位は  $\text{cm}$  である。

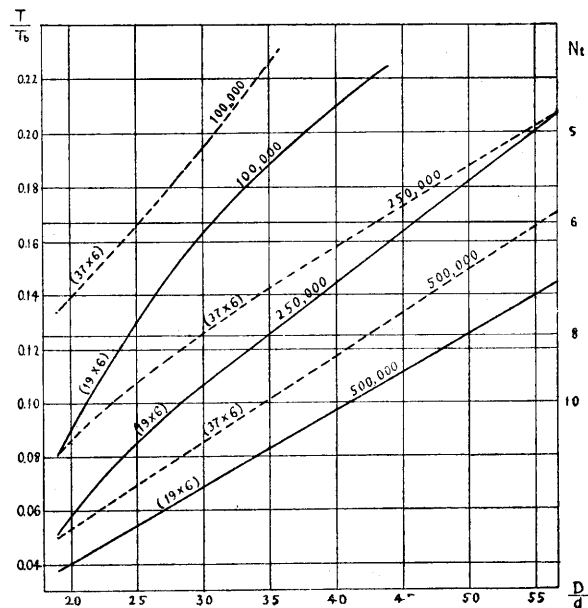
## Ⅶ 鐵 索 の 耐 久 力

集材用引寄索 (Hauling line), 引戻索 (Haulback line, Haulout line, Receeding line) は常に繰返しドラムに巻付けられ, 又支持滑車 (Bearing block) や下降車 (Falling block) を通過して曲げられつゝ運行される。架空線 (Skyline) は固定架空線式 (Tight skyline system) のものでも主柱 (Head spar) 尾柱 (Tail spar) を變更して張り替える毎に滑車を用いて緊張したり弛緩したりされ, 下降架空線式 (Slackline system) では架空線も常時ドラムに巻取られるから, 固定的架空索道の軌索とは甚しく使用状態を異にする。架空索道の軌索には可及的大きな張力に耐えると共に搬器の車輪による磨滅に対する抗力の大きな鐵索, 換言すれば素線の引張破斷強度が最も大きい材質で鐵索表面の凸凹が少いロツクト・コイル, セミロツクト・コイル, スパイラルなどの型式を選び, 曲げに対する問題はシーブや支點承沓 (Slipper) の曲率半徑を大きくすることによつて解決するのを得策とするが, 集材用鐵索は一般物揚げ用鐵索 (Hoisting rope) や曳索 (Haulage rope) の場合と同じく可及的可撓性の大きな鐵索 (Flexible rope) を選ぶことが必要であつて, 可撓性の大小はドラム及び滑車の徑の大小と共に鐵索の耐久力に大きな影響を及ぼす。この點では細い素線を用いた素線数の多いもの程好都合であり, 中心麻入及び小繩及中心麻入が適する。

然し一方架空線の如きは搬器の車輪

による表面の磨滅の量も考慮しなければならぬから素線の餘り細いものは用いられない。従つて一般に巻付け度数の比較的少い架空線には 7 本線 6 撚り (磨滅に對してはラングス・レー撚りがよい), その他の線に對しては 19 本線 6 撚り, 37 本線 6 撚りなどが多く用いられる。ATHERTON はイギリスの物揚げ用鐵索に關する規格に基いて鐵索の太さ, 張力及びドラム又は滑車の直徑と標準的耐久力との關係を表示してゐるが, イギ

表—13 鐵索の耐久力 (ATHERTON)



リスの習慣では鐵索の太さを周長で示すので、これを鐵索の直徑に換算して表示すれば表—13 の通りであつて、この表を適用すべき鐵索の素線の引張破斷強度は 90~110 ton/sq. in. (約 140~170 kg/mm<sup>2</sup>) のものである。表—13 は巻取索として最も多く用いられる 19 本線 6 撚り及び 37 本線 6 撚り鐵索について作製されたもので横軸はドラム又は滑車の徑と鐵索の徑の比  $D:d$  を示し、縦軸は鐵索に加わる實際の張力  $T$  と鐵索の引張破斷強度  $T_b$  との比を示し、同じく縦軸の右側に記した數字は鐵索の張力のみに對する安全率  $N_t = \frac{T_b}{T}$  の値である。曲線に附けた數字は巻き取り又は曲げの回数 (Cycle) を示す。従つて例えば引張りに對する安全率を 8 にとるとすると  $6 \times 19$  の鐵索で 100,000 サイクルの耐久力を期待するにはドラム又は滑車の徑に對し  $\frac{D}{d} = 24$  が要求されることを示し、同じく 500,000 サイクルの耐久力を得るには  $\frac{D}{d} = 50$  が要求されることを示す。サイクル數の算定は後記の通り行へばよい。

一般に集材用に實際使用されてゐる滑車などの徑は上表より判定されるものよりも小さい

表—14 ドラム又は滑車の直徑と  
鐵索の直徑の比

種 別	$D/d$
巻 取 ド ラ ム	20 以上
滑 車	22 以上

場合が多いが、曲げによる材料の疲勞現象のために、小徑の滑車を用いる場合はそれだけ耐久力が低下するものと見なければならぬ。ドイツに於ける 1930 年の物揚用鐵索の規格では  $\frac{D}{d}$  の値に表—14 の數値を採用してゐる (DIN 655, DIN 120 Entwurf 2.)。

前記の如く曲げ應力は  $\frac{D}{d}$  よりもむしろ  $\frac{D}{\delta}$  に支配されるから、耐久力も亦  $\frac{D}{\delta}$  を基礎にした方が合理的である。 $\frac{D}{\delta}$  の値について同じドイツの規格は表—15 の通り規定してゐる。

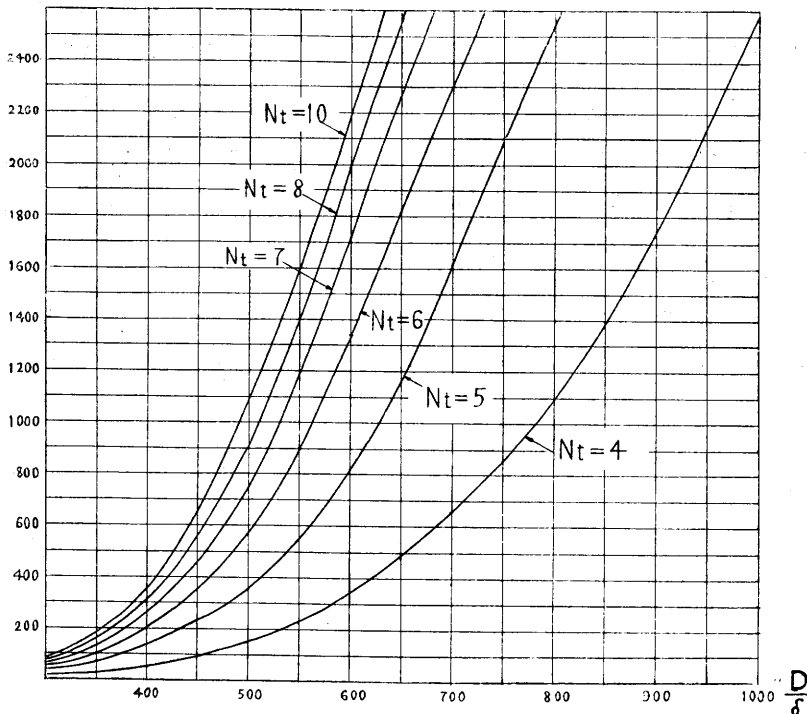
表—15 ドラム又は滑車の直徑と素線の直徑の比

種 別	$D/\delta$	摘 要
巻 取 ド ラ ム	500~600	低位の値は手動用又は輕動力式の場合に、上位の數値は張力の大きい重動力式の場合に適用するものとする。
誘導滑車及び驅動シーブ	550~700	
動 滑 車	300~400	

HÄNCHEN は BENOIT の實驗を基礎として、耐久力の判定を  $\frac{D}{\delta}$  によつて行ふのを可とし、KRELL によつて作製された表—16 の使用を提唱してゐるが、これは素線の引張破斷強度  $\sigma_{tb} = 165 \text{ kg/mm}^2$ 、彈性係數  $E = 20,070 \text{ kg/mm}^2$ 、比例限界  $\sigma_p = 9,750 \text{ kg/mm}^2$  の材質の鐵索を基礎とするものである。

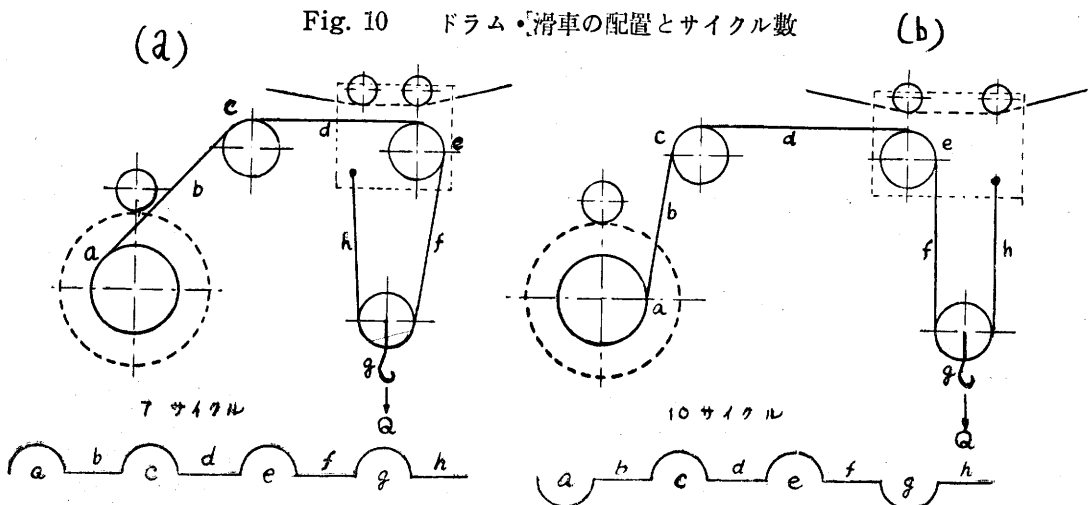
表-16 鉄索の耐久力 (KRELL)

単位 1000 サイクル



曲げ回数サイ  
クルの算定に  
は同一方向の  
曲げはドラム  
または滑車を  
通過するごと  
に1回とし反  
曲 (Reverse  
bend) のある  
場合はそれを  
2回とする。  
今曳索の例  
を示せばFig.  
10に於て (a)

では反曲がないから集材1往復 (巻取り, 繰出し各1回) につきサイクル数は7であるが, (b) では反曲があるから集材1往復につきサイクル数は10となる。よつて假に1日の集材回数80回, 1ケ年の作業日数200日とすれば1ケ年のサイクル数は (a) では  $7 \times 80 \times 200 = 112,000$ , (b) では  $10 \times 80 \times 200 = 160,000$  となる。



なお鉄索の耐久力を大きくするためには (1) 中性油又はグリースで潤滑すること, 溝付ド

ラムを用いて重ね巻きをせぬこと, (2) 溝内面が磨滅または瑕疵を受けたドラムや滑車を使用せぬこと, 出来れば溝に硬木を埋込んだ滑車を用いること, (3) 反曲 (Reverse bend) を生じないような滑車の配置をすること, (4) 溝付ドラムまたは滑車では溝線 (Lead) の角度を  $5^\circ$  以内に保つこと, (5) 鐵索の取扱いに際してはなるべく巻枠リールを用いて巻解を行い, 絶対にキンクや燃じれを生ぜしめないこと, (6) 鐵索の端にはシンプル (Thimble) を用いて鐵索の表面を直接フックや他の鐵索に觸れしめないことなどが必要である。

## 引用文献

- AMMANN, O., GRUENEWALDT, C. v.: Bergbahnen (Handbibliothek für Bauingenieure, II Teil, 9. Bd.), Berlin, 1930.  
 ATHERTON, William H.: Hoisting Machinery, London, 1940.  
 CERETTI, G.: Aerial Cableways, New York, 1927.  
 DUHM, Julius: Seilbahnen (HAUSKA, Leo: Das Forstlichebauingenieurwesen, Bd. I, II Teil.), Wien und Leipzig, 1933.  
 ERNST, A. D.: Die Hebezeuge, Bd. I, Berlin, 1903.  
 HÄNCHEN, R.: Winden und Krane, Berlin, 1932.  
 中村 元: 鋼索運輸 (昭和9年)

## Résumé

Concluding the theoretical analysis and the comparative discussion of the previous formulas for stresses in cable, the author gives following formulas applicable to the determination of dimension, stress and factor of safety of any cable or steel wire-rope used for skyline-skidder in logging practice:

- (1) Tensile stress in  $\text{kg/mm}^2$

$$\sigma_t = \frac{T}{\eta \cdot A} = \frac{T}{A_e}, \text{ where } T = \text{Tension in cable in kg, } A = \text{Usefull net cross-sectional area of cable in mm}^2, A_e = \text{Effective cross-sectional area, } \eta = \text{Efficiency of cross-section.}$$

- (2) Bending stress in  $\text{kg/mm}^2$  due to curvature of winding drum, sheave or pulley

$$\sigma_{b1} = \frac{\delta}{D} \cdot k_1 \cdot E, \text{ where } \delta = \text{Diameter of wire-element in mm, } D = \text{Diameter of drum, sheave or pulley in mm, } E = \text{Modulus of elasticity of wire material in kg/mm}^2, k_1 = \text{Coefficient, usually } 3/8 \text{ is reasonable.}$$

- (3) Bending stress in  $\text{kg/mm}^2$  due to lateral load

$\sigma_{b2} = P \sqrt{\frac{k_2 \cdot E}{TA}}$ , where  $P$  = Lateral load in kg,  $k_2$  = Coefficient, usually 0.4 is reasonable.

(4) Maximum stress

$$\sigma_{max1} = \sigma_t + \sigma_{b1} \text{ OR } \sigma_{max2} = \sigma_t + \sigma_{b2}$$

(5) Factor of safety for tension only

$$N_t = \frac{\sigma_{tb}}{\sigma_t}, \text{ where } \sigma_{tb} = \text{Breaking stress of cable in kg/mm}^2.$$

(6) Factor of safety for total stress

$$N = \frac{\sigma_{tb}}{\sigma_{max1}} \text{ or } N = \frac{\sigma_{tb}}{\sigma_{max2}}$$

Using these formulas the author compiled three original tables for practical use of calculation in regard to the JES specified  $7 \times 6$ ,  $19 \times 6$  and  $37 \times 6$  multiple-stranded and hemp-coréd steel wire-ropes made of three different grade of material, which are most popular in this country. In addition, the treatise concerns to the compressive stress, which should be taken into account in some cases, and the durability of cable. To presume the durability of cable, namely the allowable limit of cycles in skidding operation, the author recommends the use of durability-graph prepared by ATHERTON or HÄNCHEN.